Lane Medical Library

Über die Eigenschaften einiger Dental-Gold-Legierungen auf Grund metallographischer Untersuchungen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Zahnheilkunde

der hohen medizinischen Fakultät

der Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen

vorgelegt von

Hermann Langlotz

aus Erfurt.

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Dezember 1931.

Erlangen

Gutenberg-Druckerei (Reinhold & Limmert)

1932.

Referent: Univ.-Professor Dr. Chr. Greve.

Dekan: Univ.-Professor Dr. E. Kirch.

Meinen lieben Eltern

in Dankbarkeit gewidmet.

In der zahnärztlichen Praxis spielen die Edelmetalle, also das Gold, das Platin und ihre Legierungen mit allen Metallen, mit denen sie feste Lösungen bilden, als Material zu Prothesen die bedeutendste Rolle. Man hat zwar zahlreiche Untersuchungen angestellt, um Baustoffe zu finden, die die Vorzüge des Goldes aufweisen, aber da weder die Aluminiumlegierungen, noch die verschiedenen Messing- und Neusilber-Zusammensetzungen korrosionsfest sind, da die Silberlegierungen sich im Munde schwärzen, und da der rostfreie Stahl zu schwer zu bearbeiten ist, blieben die Edelmetalle als die geeignetsten im Felde.

Es bieten sich nun dem Praktiker Edelmetall-Legierungen in Hülle und Fülle, da viele Firmen, mehr oder weniger auf Grund wissenschaftlicher Untersuchungen, die verschiedensten Legierungen zu den verschiedenen Zwecken der prothetischen Zahnheilkunde herstellen.

Bei der Herstellung und im Gebrauche von Zahnprothesen und Füllungen treten erfahrungsgemäß unliebsame Vorkommnisse auf, beispielsweise Brüche, Verfärbungen, Deformationen, Korrosionserscheinungen und vorzeitige Abnützung, die sich der Zahnarzt oft nicht so recht erklären kann und die er dann bequemerweise nur dem verwendeten Material zuschreibt. Dabei vergißt er, daß viele dieser Unregelmäßigkeiten nur auf das Konto der falschen Bearbeitung zu setzen sind, da nicht alle Legierungen gleich behandelt werden dürfen.

Besonders bei der Verarbeitung der Gußgolde, die ja in der Praxis noch einmal den Kristallisationsprozeß durchmachen müssen, sind einzelne mit besonderer Vorsicht zu behandeln. Seitdem uns die moderne Technik das Gußverfahren geschenkt hat, werden vorwiegend Gußgolde verwendet, weil dadurch die Arbeiten viel individueller der Natur des menschlichen Gebisses angepaßt werden können und weil das Gußverfahren in vielen Punkten einfacher ist als das früher übliche Stanz- und Lötverfahren. Auf Anregung meines verehrten Lehrers,

des Herrn Prof. Dr. Christian Greve, habe ich mir zur Aufgabe gemacht, die in der prothetischen Abteilung der Erlanger Universitäts-Zahnklinik verwendeten Dental-Gußgolde metallographisch zu untersuchen und ihre Eigenheiten zu prüfen.

Bevor ich auf meine eigenen Untersuchungen eingehe, ist es notwendig, die metallographischen Grundlagen der Edelmetallegierungen etwas näher zu beleuchten, weil sie zum Verständnis und zur Beurteilung der Schliffbilder von höchstem Werte sind. Im Anschluß daran und zugleich in Verbindung mit meinen eigenen Versuchen werde ich dann noch kurz auf einige Versuche und Erfahrungen hinweisen, die von anderer Seite über dieses Thema gemacht wurden.

Der feste Körper ist ein Gebilde, das aus Atomen oder Molekeln besteht, die nach dem Prinzip des Raumgitters zu einem Kristall angeordnet sind. Der Kristall wiederum besteht aus Bauelemeten, die regelmäßig aneinander gepackt sind. Dieser letzte Satz erklärt verschiedene Eigenschaften der festen Körper: Einmal die ebenen Begrenzungsflächen der Kristalle, zum anderen die Tatsache, daß die Spaltbarkeit der Kristalle in Richtung der Berührungsflächen am größten ist, weil die Kohäsion des Kristalls an diesen Berührungsflächen am geringsten ist. (Lit. 5)

Die Struktur der Kristalle von Gold und Silber zeigt ein Raumgitter, das einen Würfel zum Grundkörper hat, dessen Ecken und Flächenmitten durch Atome besetzt sind. Diese Kristallstruktur bleibt in jedem Zustande für den Kristall erhalten, mag er auch noch so fein verteilt sein. Durch Deybe und Scherrer wurde durch Röntgenstrahl-Analyse nachgewiesen, daß selbst kolloides Silber und Gold die gleiche Struktur aufweisen wie Kristalle, die man makroskopisch erkennen kann. (Lit. 5, 28)

Der gegenwärtige Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse hat auch neue Erfahrungen auf dem Gebiete des Isomorphismus zu Tage gefördert. Unter Isomorphismus versteht man die Tatsache, daß bestimmte Kristallpaare in der Lage sind, aus Schmelzen oder Lösungen anstatt getrennter Kristalle einen gemeinsamen festen Körper zu bilden, den sogenannten Mischkristall. Dies trifft besonders bei den hier

in Frage kommenden Metallen zu. Mitscherlich stellte den Satz auf: Chemisch ähnliche Substanzen bilden in jedem Mengenverhältnis Mischkristalle! Noch heute weiß man leider sehr wenig über die Bedingungen, unter denen zwei Metalle einen Mischkristall bilden. Z. B. Kupfer und Silber zeigen eine große Lücke in der Mischkristallbildung, trotzdem mit Gold jedes dieser beiden lückenlos isomorphe Reihen eingeht.

Auch über die Struktur der Mischkristallgitter ist man heute noch nicht im Klaren. Masing und Lerblanc halten die beiden Bestandteile des Mischkristalls für ungeordnet — daher der Ausdruck „feste Lösung“ (= Mischkristall). Tammann, der seine Erfahrungen besonders aus der Untersuchung von Isomorphen Gold-Silber-Gemischen gesammelt hat, spricht von „symmetrisch geordneter Verteilung“. (Lit. 5, 24)

Lösen sich zwei Metalle ineinander, d. h. sind sie in flüssigem Zustand mischbar, aber unmischbar in kristallisiertem, so wird der Schmelzpunkt jedes einzelnen dieser beiden Metalle durch Zusatz des anderen erniedrigt. Der Grad dieser Erniedrigung hängt von dem Mengenverhältnis ab, in dem die beiden Metalle vorhanden sind. Es gibt für zwei Metalle dann immer ein bestimmtes Mengenverhältnis, bei dem der tiefste Schmelzpunkt vorhanden ist. Diesen tiefsten Schmelzpunkt von zwei Metallen nennen wir ihr „Eutektikum“. Wohlgemerkt: Ein Eutektikum besteht nicht aus Mischkristallen, sondern ist ein mikroskopisches Gemenge zweier Kristallsorten in reiner Form. Da es für die Betrachtung der Schliffbilder von Legierungen, die im Munde getragen werden, sehr wichtig ist, ein Eutektikum herauszuerkennen, will ich darauf kurz eingehen. Das mikroskopische Bild eines reinen Eutektikums zeigt eine charakteristische Streifung, die folgendermaßen zustande kommt: Wird die Schmelze eines Eutektikums, bestehend aus den Komponenten A und B (die verschiedenen Schmelzpunkt haben) abgekühlt, so scheiden sich zunächst reine Kristalle der einen Komponente, nehmen wir an, der Komponente A, ab. Dadurch wird in der Schmelze die Komponente B konzentriert, und sofort scheiden sich B-Kristalle aus, so lange, bis A wieder die höhere Konzentration hat.

Dieses Wechselspiel hält an, bis die ganze Schmelze auskristallisiert ist. Im Mikroskop sieht man dann deutlich die oben erwähnte charakteristische Streifung, die durch Aneinanderlagerung der verschiedenen Kristallreihen zustande kommt. Hat man kein reines Eutektikum, sondern herrscht eine Komponente vor, so bekommt man logischerweise im Schliffbild, je nachdem welche Komponente vorherrschte, reine ausgewachsene Kristalle A oder B + Eutektikum. (Lit. 1, 6, 16, 21)

Ich komme nun zu einem der wichtigsten Kapitel, zur Frage der Homogenität. Eine Legierung ist homogen, wenn die einzelnen Kristalle an jeder Stelle die gleiche Zusammensetzung haben. Ist sie inhomogen, kann man innerhalb ihrer Kristalle Konzentrationsunterschiede, d. h. goldreichere und goldärmere Zonen nachweisen. Anhand des Zustandsdiagramms von Gold-Platin will ich die Vorgänge veranschaulichen, die sich während der Erstarrung einer Legierung abspielen. (Abb. 1)

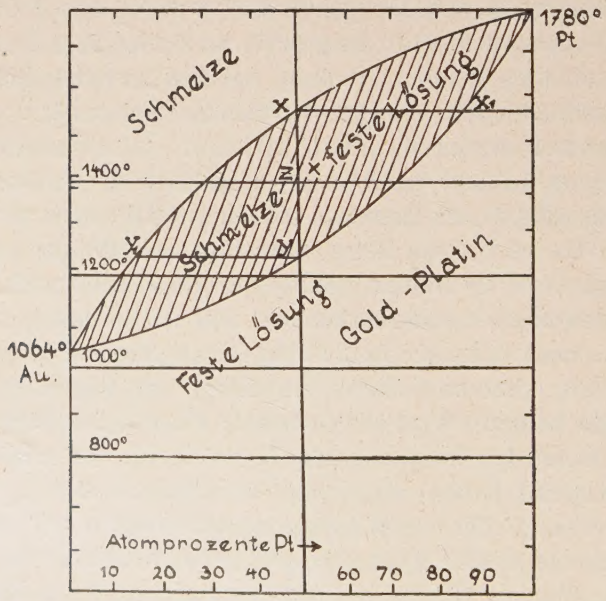

Abb. 1. Gold-Platin. Nach Doerinkel (Lit. 4)

Im Diagramm ist auf der Abszisse die Zusammensetzung der Legierung vom reinen Gold bis zum reinen Platin eingetragen, auf der Ordinate die Temperatur. Die beiden Kurven, die in den Schmelzpunkten von Au und Pt zusammenlaufen, zeigen die Punkte der beginnenden (Obere Kurve) und der beendeten (Untere Kurve) Kristallisation an. Die obere Kurve heißt Liquiduskurve; über ihr besteht nur flüssige Schmelze. Die untere, die Soliduskurve, zeigt, daß unter ihr nur feste Legierung vorhanden ist. Das Gebiet zwischen beiden enthält nebeneinander feste Kristalle und flüssige Schmelze im Gleichgewicht. Wir sehen, daß im Gegensatz zu reinen Metallen Legierungen keinen Schmelzpunkt haben, sondern ein Schmelzintervall. Das Diagramm zeigt deutlich, daß reines Gold bei 1064^0 schmilzt, oberhalb dieser Temperatur vollkommen flüssig ist und bei der Abkühlung bei 1064^0 wieder erstarrt. Dasselbe gilt für Platin bei 1780^0. Sehen wir uns aber den Zustand einer 50%igen Gold-Platin-Legierung an, so haben wir ein Schmelzintervall von 300^0: Die Schmelze beginnt bei ca. 1550^0 zu erstarren und ist erst bei ca. 1280^0 völlig fest. Die im Punkte x erstarrenden Kristalle haben aber keineswegs die Zusammensetzung von 50% Au — 50% Pt, sondern sie haben einen höheren Platingehalt. Zieht man durch x die Parallele zur Abszisse, so findet man beim Schnittpunkt dieser Linie mit der Soliduskurve x_1 die Konzentration der ersten Kristalle. Da die verbleibende Schmelze in diesem Augenblick dadurch platinärmer geworden ist, bekommt man bei weiterer Abkühlung Kristalle, die ebenfalls immer platinärmer sind, bis sie bei y die Konzentration y_1 haben. Kühlt man die Schmelze nun ganz langsam ab, so kann bis zum Punkte z aus der Schmelze Au in die Pt-reicheren Kristalle hineinwandern. Diese Fähigkeit der Legierung nennt man Diffusion. Sie ist nur möglich, solange die Atome noch die zur Wanderung nötige Beweglichkeit haben. (Lit. 4, 5, 16, 17, 25)

Bei den zahnärztlichen Güssen wird dieser ideale Konzentrationsausgleich sehr selten erreicht, da die Schmelzen in den Gußapparaten zu schnell erstarren, als daß eine restlose Diffusion eintreten könnte. Das Fehlen des Kristallisationsausgleichs macht sich besonders bemerkbar bei Güssen

von Gold-Silber-Kupfer-Legierungen, noch stärker bei Weißgold-Legierungen, ob sie nun durch Platin-, Palladium- oder durch Nickel-Zusätze hergestellt wurden, da bei allen diesen Legierungen die Liquidus- und Solidus-Kurve sehr weit voneinander entfernt sind. Denn diese Stoffe brauchen infolge des großen Schmelz-Intervalls längere Zeit zum Kristallisieren, parallel dazu auch länger zum Diffundieren. Bei Gold-Silber-Kupfer-Legierungen treten z. B. goldreiche Kristallskelette auf, in die sich die anders zusammengesetzten Erstarrungsprodukte einlagern. Man nennt sie „Dentriten". Solche Kristallskelette werden wir bei der Betrachtung der Schliffbilder an einem Schliff deutlich sehen können. Wird die Soliduslinie unterschritten, so ist das Wachstum und die Bildung von Kristallen beendet. Es setzt sich aber der Kristallisationsausgleich durch Diffusion noch unter der Soliduslinie fort. Das ist eine für den Praktiker ungemein wichtige Tatsache, die es ihm ermöglicht, nachträglich inhomogene Güsse zu homogenisieren. Das geschieht durch die sogenannte Temperung. Da die Beweglichkeit der Atome im Raumgitter mit steigender Temperatur stark zunimmt, geht der Konzentrationsausgleich um so schneller vor sich, je näher man mit der Temperatur an den Soliduspunkt der Legierung herankommt. Die Zeit, die man zur Homogenisierung braucht, ist natürlich besonders abhängig vom Grade der Inhomogenität. Für die in der zahnärztlichen Praxis verwendeten Legierungen genügt in der Regel eine einstündige Erhitzung auf 700°. Auf diese Weise sind auch einige der von mir untersuchten Legierungen homogenisiert worden. (Lit. 1, 2, 3, 16)

In diesem Zusammenhang möchte ich auf die Verfärbung der Goldlegierungen im Munde eingehen, da sie ihre Hauptursache in der Inhomogenität der Legierungen findet. Die Verfärbung bezw. Korrosion wird durch Lokalelementbildung verursacht. Wir haben weiter vorne schon gesehen, daß in einem inhomogenen Gußstück goldreichere und goldärmere Teile dicht nebeneinander bestehen. Diese bilden zusammen mit dem sauer oder alkalisch reagierenden Speichel als Elektrolyten galvanische Elemente. Der goldärmere Teil, der

weniger resistent ist, geht dabei in Lösung und bildet auf dem goldreicheren Teil Niederschläge. Diese Niederschläge von Silber und Kupfer bilden infolge der Einwirkung von Schwefelwasserstoff, der bei der Zersetzung von Speiseresten entsteht, eine Schicht von Schwefelverbindungen. Je nach der Dicke dieser Schicht ist ihre Farbe verschieden: Braun, blau, blaurot usw. (Lit. 2, 6, 14, 21)

Die Güte der mechanischen Festigkeitseigenschaften von Legierungen steigt und fällt im umgekehrten Verhältnis zur Größe ihrer Kristalle. Einmal ist die Verzahnung des ganzen Gefüges bei feinem Korn viel inniger; außerdem lagern sich die Verunreinigungen, die in der Legierung vorhanden sind, an den Korngrenzen ab. Die Summe der Kristallflächen ist aber bei feinkörnigem Material viel größer als bei grobkörnigem Material. Bei der gleichen Menge von Verunreinigungen muß also in einer feinkörnigen Legierung die Zwischenschicht dünner sein als bei gröberem Material. Ein Gußstück reißt aber um so leichter in seinen Korngrenzen, je dicker diese Schicht von Verunreinigungen ist.

Haben wir beispielsweise an einem Gußstück eine schmalere Stelle, was oft an Verankerungsschenkeln von gegossenen Füllungen eintritt, so kann es passieren, daß bei grobkristallenem Gefüge die Kornbegrenzung eines einzigen großen Kristalles durch den ganzen Querschnitt läuft, während bei Vorhandensein von kleinen Kristallen dieser Querschnitt von vielen, gegeneinander versetzten, kleinen Kristallflächen gebildet wird. Bei hoher Beanspruchung wird dann im letzteren Gußstück ein Bruch viel schwerer eintreten können. (Lit. 2, 16)

Ob man in einem Gußstück grobes oder feines Gefüge vorfindet, hängt davon ab, wie schnell die Schmelze durch das Gebiet zwischen Liquidus- und Solidus-Kurve(Abb. 1) hindurchgegangen ist. Die Korngröße wird dabei beeinflußt erstens von der Kernzahl und zweitens von dem Kristallwachstum. Nach Erreichung der Liquidus-Linie bilden sich Kerne, von denen Kristallisation ausgeht. Diese Kernbildungstendenz ist anfangs klein, erreicht bei fallender Temperatur ihr Maximum und nimmt wieder ab. Man findet

demnach ein feineres Korn, wenn viele Kerne gebildet werden und die Wachstumsgeschwindigkeit gering ist. Umgekehrt erhält man grobe Kristalle, wenn die Kernbildungstendenz gering und das Kristallwachstum groß ist. Die durchschnittliche Größe der Kristalle hängt infolgedessen von der Geschwindigkeit der Abkühlung während des Erstarrungsvorganges ab. Feinste Struktur erhält man daher bei „Kokillengüssen", d. h. bei Güssen in eine offene Form, gröbere bei Güssen, die in Sandformen, in ossa sepia oder in eine gipshaltige Einbettungsmasse gemacht wurden. Im letzten Falle wiederum wird die Korngröße beeinflußt von dem Erhitzungsgrad, in dem sich die Schmelze und die Gußform befinden. Auf den Einfluß, den die verschiedenen Legierungsmetalle auf die Kristallisation ausüben, werde ich noch zurückkommen. (Lit. 1, 2, 8, 15, 23)

Durch Variationen beim Erhitzen von Gußgut und Muffel ist man also imstande, die Struktur des Gußobjektes stark zu beeinflussen. Nur hat diese Beeinflussung ihre Grenzen: Bei zu kaltem oder zu heißem Gießen treten Porositäten auf, die die guten Eigenschaften eines Gußstückes stark herabsetzen. Poren sind mit die Ursache von geringerer Festigkeit und Lebensdauer; sie tragen mit die Schuld an der Verfärbung (da sich besonders in oberflächlichen Mikrolunkern Säure festsetzt, die man schwer wieder herausbekommt — und Speisereste, die zur Bildung von H_2S neigen). Und schließlich geben die Poren beim Ausarbeiten und Polieren von Gußstücken viel Veranlassung zu Ärger, da man in solchen Fällen die Oberfläche oft nicht glatt bekommt. Je nach der Entstehungsursache gibt es verschiedene Arten von Poren. Die Hauptursachen sind: Schwindung, Gaseinschluß, Oxydation und ungeeignete Einbettmasse. Über die Lunkerbildung und Schwindung schreibt Schoenbeck: (Lit. 17)

„Ein in seiner Form erstarrender Guß wird sich zunächst an den Wandungen der Form verfestigen und es bleibt im Innern ein flüssiger Kern, aus dem sich nach und nach weitere Mengen erstarrter Legierung auf der zuerst entstandenen Schicht abscheiden. Durch die einsetzende Kontraktion wird die im Innern noch zur Verfügung stehende flüssige Masse

nicht ausreichen, um die Form auszufüllen. Es bildet sich also im Innern ein Hohlraum, der bei engem Gußkanal in der gegossenen Form meist im Mittelpunkt oder am Orte des größten Durchmessers der Form liegen wird. Man hat diesen Hohlraum als Lunker bezeichnet. - - - Wenn eine Legierung aus dem flüssigen in den festen Zustand übergeht, findet Kontraktion statt, die man allgemein als „Schwindung" bezeichnet. Die Größe derselben setzt sich aus zwei Anteilen zusammen und zwar einmal aus der Kontraktion, die beim Übergang flüssig zu fest auftritt, und zweitens aus derjenigen, die bei der Abkühlung der erstarrten Legierung stattfindet. - - - Verläuft die Schwindung in einem Gußstück nicht gleichmäßig, so werden Spannungen auftreten, durch die die Festigkeit des Gusses beinträchtigt wird. Man kann allerdings der Schwindung entgegenarbeiten, wie dies z. B. beim Schleuderguß geschieht!" (Durch die Zentrifugalkraft).

Mikrolunker, d. h. mikroskopisch kleine Schwindungshohlräume entstehen durch zu kalte Schmelze oder zu kalte Form. Wenn diese Hohlräume gleichmäßig verteilt sind, so beeinträchtigen sie die Festigkeit und die Oberfläche des Gußstückes verhältnismäßig wenig. Bei unsachgemäßer Arbeitsweise sind diese Lunker jedoch größer und konzentrieren sich auf den dicksten Teil des Gußstückes. Bei überhitzter Schmelze oder zu hoch vorgewärmter Form kann es zu den sogenannten „Randblasen" kommen, eine andere Form von Schwindungshohlräumen. Diese Blasen werden beim Polieren häufig freigelegt und beeinflussen in erster Linie das Aussehen und die Beständigkeit gegen Verfärbung ungünstig. Durch mitgerissene Luft oder durch Gase, die keine Gelegenheit haben, durch die Einbettungsmasse zu entweichen, entstehen die Gasblasen, große Poren, die die Festigkeit des Gußstückes sehr ungünstig beeinflussen und oft Ausflicken mit Lot notwendig machen. Schließlich können dadurch Unregelmäßigkeiten und Poren an der Oberfläche auftreten, daß die verwendete Einbettungsmasse zu grobkörnig ist, oder daß mikroskopisch kleine Teilchen der Einbettungsmasse abbröckeln. (Lit. 2, 3, 17)

Nachdem ich bis jetzt über die Metalle und Legierungen

ganz allgemein berichtet habe, komme ich jetzt zur speziellen Betrachtung des Goldes und seiner Legierungsmetalle, soweit sie für zahnärztliche Zwecke in Betracht kommen. Da spielt das Gold naturgemäß die Hauptrolle, da es am häufigsten zur Herstellung zahntechnischer Legierungen verwendet wird, in fast allen Fällen sogar die Grundlage derselben ist. Es verdankt diese Vormachtstellung seinen vorzüglichen Eigenschaften. Seiner Unangreifbarkeit durch chemische Einflüsse, die im Munde vorkommen können; seiner Geschmeidigkeit und besonders der Fähigkeit, andere Metalle ganz oder doch in beschränktem Umfange aufzulösen und damit feste Mischkristalle zu bilden. Durch diese Fähigkeit ermöglicht uns das Gold zahlreiche Kombinationen: Die Legierungen, die in Bezug auf Festigkeit, Dehnbarkeit, Härte, Elastizität, Schwerschmelzbarkeit oder Dünnflüssigkeit und auf Farbe weitgehenden Anforderungen entsprechen. Die Farbe des reinen Goldes ist gelbglänzend, geringe Spuren von Silber ändern sie fast nicht, sehr wohl aber solche von Platin, Palladium, Zinn, Aluminium, Blei und Antimon. Bei langsamer Abkühlung aus dem Schmelzflusse bildet das Gold Kristallaggregate von Würfeln und Oktaedern, deren Achsen mehrere Millimeter lang werden können. Die interkristalline Kohäsion ist gering, daher entstehen bei der Bearbeitung solcher grobkörniger Gußstücke häufig Risse. Das Gold vermag Silber, Palladium, Platin, Kupfer und Nickel in jedem Gewichtsverhältnis zu lösen und kann von jedem dieser Metalle in fester Lösung (in Mischkristallen) gehalten werden. Außerdem bildet es in Prozentsätzen (10—20%) Mischkristalle mit Kadmium, Zink, Eisen und Quecksilber. Noch weniger werden Magnesium, Zinn und Aluminium aufgenommen.

Auch das Feinsilber ist in fast allen zahntechnischen Legierungen enthalten, denn dieses Edelmetall erhält zusammen mit dem Kupfer, das goldähnliche Aussehen der Goldlegierungen und ist dabei von vorzüglichem Einfluß auf ihre Festigkeit und Härte, ohne aber dabei die Dehnung und die Formveränderungsfähigkeit wesentlich herabzusetzen. Die Farbe des Feinsilbers ist rein weiß mit einem besonders guten Metallglanz und großer Polierfähigkeit. Aber schon geringe

Verunreinigungen sind fähig, dieses Aussehen beträchtlich zu verändern. Das Silber wird durch geringste Einflüsse von Schwefelwasserstoff und Phosphorwasserstoff geschwärzt. Ist es flüssig, so ist es in der Lage, bis zum Zwanzigfachen seines Volumens Sauerstoff aufzunehmen, den es beim Erstarren wieder abgibt, da festes Silber nur geringe Lösefähigkeit für Sauerstoff hat, wobei aber ein Teil als feinste Bläschen mechanisch zurückgehalten wird. Das Kristallsystem des Silbers ist kubisch.

Das letzte an dominierender Stelle zu besprechende Metall ist das Kupfer. Das Verhältnis des Kupfers zum Gold ist erst in den letzten Jahren völlig geklärt worden. Bis zum Jahre 1916 hatte man angenommen, daß die Legierungen der beiden Metalle eine ununterbrochene Reihe von Mischkristallen bilden. Als aber die Untersuchungen wieder aufgenonmmen wurden, fand sich, daß sich aus Gold-Kupfer-Legierungen, die langsam abgekühlt wurden, bei bestimmten Mischungsverhältnissen chemische Verbindungen ausschieden. Großer Wert muß beim Legieren des Kupfers darauf gelegt werden, daß es nicht oxydieren kann. Wenn es ihm möglich ist, sich in glühendem Zustand mit einer Schicht von Kupferoxyd zu überziehen, so wird diese Schicht mit eingeschmolzen, setzt sich in Oxydul um und beeinflußt die guten Eigenschaften der Legierung sehr ungünstig. Wird das Kupfer überhitzt, so kann es auch andere Gase, z. B. Wasserstoff und schweflige Säure, und zwar in ganz beachtlichen Mengen, in sich aufnehmen. Die Farbe ist bräunlich-rot; es kristallisiert in der Regel in Oktaedern.

Um die Goldlegierungen fester und härter zu machen oder um die Elastizität zu steigern, wird häufig das Platin zugesetzt. Außer diesem verhilft es den Goldlegierungen zu einer helleren Farbe, die im Munde nicht so auffällt, wie die der einfachen Gold-Silber-Kupfer-Legierungen, und schließlich hat es einen sehr günstigen Einfluß auf die Strukturbildung während des Erstarrungsvorganges. Wegen seiner unauffälligen grau-weißen Farbe wird das Platin auch häufig rein anstelle des hochkarätigen Goldes als Material für Kronen verwendet. Die Formveränderungsfähigkeit ist wesent-

lich geringer als die des Goldes und Silbers. Es kristallisiert kubisch.

Wir haben bei unseren Betrachtungen bis hierher schon öfters gesehen, daß das Gold dasjenige Metall ist, welches den Legierungen des Systems Gold-Silber-Kupfer die Resistenz gegen alle im Munde normal vorkommenden Bestandteile des Speichels verleiht. Da wir aber von allen im Dienste der Zahnheilkunde stehenden Legierungen absolute Resistenz verlangen müssen, muß in ihnen ein gewisser Mindestprozentsatz von Gold vorhanden sein. Es scheiden von den Edelmetallegierungen alle diejenigen aus, in denen das unangreifbare Gold (und Platin, falls sich solches in der Legierung befindet) nicht mindestens die Hälfte aller Atome ausmacht. Alle Legierungen des Systems Silber-Kupfer-Gold sind resistent, wenn sie mehr als 756 Tausendstel Gold enthalten. Die untere Grenze liegt bei den 18 karätigen Golden, die alle außer den hochroten, in Frage kommen, bei den 17 karätigen, die dem Gewichte nach gleich viel oder mehr Silber als Kupfer enthalten und bei der 16 karätigen, kupferfreien Legierung. Alles, was darunter liegt, ist für Dauerprothesen unbrauchbar.

Die gebräuchlichsten Legierungen, die auch im hiesigen Institut verwendet werden, und die ich untersucht habe, sind alle 18-, 20- oder 22 karätig. Ich will deshalb nur diese drei Gruppen erläutern.

Innerhalb der Legierungen von demselben Karat wechseln die Eigenschaften mit dem verschiedenen Gehalt an Kupfer und Silber. Wir unterscheiden dabei in jeder Gruppe silberfreie, kupferreiche, silber-kupfergleiche, silberreiche und kupferfreie Legierungen. Die Legierungen von 22 Karat Feingehalt werden hauptsächlich zur Herstellung von Kronen verwendet. Die silberfreie und silberarme Legierung unterscheiden sich wenig. Die erstere hat eine dunkelgelbe Farbe und ist etwas geschmeidiger und fester als die zweite. Dafür ist die etwas hellere silberarme unauffälliger im Munde und besitzt einheitlichere Mischkristalle. Die silber-kupfergleiche Legierung ist, trotzdem ihre mechanischen Eigenschaften weiter abnehmen, sehr beliebt, weil sie in der Farbe vom

Feingold am wenigsten zu unterscheiden ist. Die silberreiche wird besonders zum Ziehen von Kronen viel verwendet, weil sie sich sehr gut dehnen läßt. Auch die unauffällige helle strohgelbe Farbe trägt zu ihrer Beliebtheit bei. Und die kupferfreie schließlich bietet den Vorteil, daß sie beim Löten nicht oxydieren kann. Diese Tatsache und ihr Maximum an Dehnbarkeit erklärt es, daß sie oft verwendet wird, trotzdem ihre Härte und Festigkeit den Anforderungen nicht gerecht werden, worüber sich ein großer Teil der Verbraucher im unklaren ist. Die silberfreie 20karätige Legierung ist vollkommen resistent und übertrifft in ihren mechanischen Eigenschaften alle Legierungen des 22karätigen Goldes. Sie wird aber äußerst selten verwendet wegen ihrer fast kupferroten Farbe. Die nächsten Abstufungen dieser Gruppe gehen ungefähr denselben Weg wie die Legierungen der 22karätigen. Mit steigendem Silberzusatz nehmen die mechanischen Eigenschaften ab, die Unauffälligkeit der Farbe zu und die Bearbeitung wird leichter. Die Silber-Kupfergleiche ist auch hier wieder die am meisten verwendete Legierung. Der tiefere Grund dieser Tatsache wird darin zu sehen sein, daß die Träger der Prothesen bei dieser (in der Farbe) goldähnlicheren Legierung die größte Überzeugung von deren Echtheit haben.

Die silberreichen und kupferreichen Legierungen der dritten Gruppe, der 18karätigen Legierungen, unterscheiden sich stark. Die kupferreiche Legierung ist zwar schwerer zu verarbeiten als dieselbe der 20 und 22karätigen, aber sie besitzt bedeutende Festigkeit und Härte und eine ansehnliche Dehnungsfähigkeit, wenn sie abgeschreckt wird. (Dieses, um die Bildung der chemischen Verbindung AuCu zu vermeiden.) Die silberreiche 18er Legierung ist ebenso wie die gleiche 22karätige sehr leicht zu verarbeiten, ist dieser aber doch überlegen, so daß sie (was nicht geschieht) mehr als jene verarbeitet werden sollte. Die silberfreie 18karätige Legierung wird wegen ihrer Farbe nicht verwendet. Auch sind ihre mechanischen Eigenschaften kaum besser als die des Feinsilbers. (Lit. 17, 18, 24)

Um die konstitutiven Elemente und den Zusammenhang zwischen dem Bau und den Eigenschaften einer Legierung

unmittelbar zu erkennen, hat sich, besonders durch Arbeiten von Martens, Behrens und Goerens die Metallographie, d. i. die mikroskopische Untersuchung des Gefüges von erstarrten Legierungen, zu einem sehr brauchbaren Verfahren entwickelt. Die metallographische Praxis zerfällt in die Herrichtung der zu untersuchenden Flächen, die Entwicklung der Struktur und das Studium derselben unter dem Mikroskop bezw. ihrer photographischen Aufnahme. (Lit. 7, 8)

Vor allem muß die unter dem Mikroskop zu betrachtende Fläche vollkommen eben und möglichst frei von Rissen und Sprüngen sein. Bei den Goldlegierungen bedarf daher das betreffende Gußstück einer eingehenden Behandlung. Ich habe folgendes, sehr zu empfehlendes Verfahren angewendet:

Je ein Stück Schmirgelpapier der Sorten 1 M, GF, F, 0, 00, 000 wurde, um es vollkommen eben aufliegen zu lassen, über eine Spiegelglasscheibe gespannt und die Gußstücke der Reihe nach vom groben bis zum feinsten Papier glattgeschliffen. Und zwar auf jedem Papier solange, bis unter der Lupe die Risse des gröberen Papieres nicht mehr zu sehen waren. Nach jedem Schleifen wurde das Stück sorgfältig abgespült, um alle Schmirgelreste zu entfernen, und bei jedem Schleifen das Gußstück um 90^0 gedreht, um das Verschwinden der gröberen Risse deutlicher sichtbar zu machen. Besonders mußte darauf geachtet werden, daß auf einem Papier immer in genau derselben Richtung geschliffen wurde, damit evtl. doch noch bestehende Kratzer unter dem Mikroskop durch ihre Parallelität sofort als solche zu erkennen waren. Nach diesem Schleifen mit Schmirgelpapier begann das Schleifen mit geschlämmtem Schmirgel. Das geschah auf einer mit Motor angetriebenen rotierenden Scheibe, die mit Leinenstücken belegt wurde, auf die man den geschlämmten Schmirgel aufspritzte. Es wurde mit Schmirgel geschliffen, der 1, 20 und 60 Minuten geschlämmt war. Darauf dieselbe Prozedur mit Zinnasche. Die Politur wurde mit Pariser-Rot vorgenommen, das ebenfalls auf die rotierende Scheibe, aber auf einen weichen Flanellappen aufgespritzt wurde. Nach dieser Behandlung hatte ich vollkommen glatte, hochglänzende Flächen. Um die Struktur der Kristalle sichtbar zu machen, bedurfte es der

Behandlung mit einem geeigneten Ätzmittel. Da in der einschlägigen Literatur über Ätzverfahren speziell des Goldes nichts genaueres zu finden ist, will ich hier ein Verfahren beschreiben, wie es in den metallographischen Laboratorium einer deutschen Scheideanstalt gebraucht wird und das sich bei meinen Untersuchungen als das vollkommenste bewährte:

Das tadellos polierte Schliffstück wird in Königswasser angeätzt. Das Königswasser stellt man durch Mischen von Salz- und Salpetersäure im Verhältnis von 3 Teilen Salzsäure zu 1 Teil Salpetersäure her und verdünnt mit der gleichen Menge Wasser. Man erhitzt die Säure in einem kleinen Schälchen bis zum beginnenden Sieden und bringt dann den sorgfältig polierten und auf der Schlifffläche mit Alkohol entfetteten Schliff für wenige Sekunden in die Säure. Am besten ist es, wenn das Stück groß genug ist, damit man es nicht ganz einzutauchen braucht und an dem herausragenden Teil gehalten werden kann. Ist das Schliffstück so klein, daß es ganz eingetaucht werden muß, so ist auf jeden Fall eine Berührung mit Metall (Pinzette) zu vermeiden.

Nach einigen Sekunden Ätzdauer wird das Stück herausgenommen und sofort in reichlich Wasser abgespült. Wenn das ganze Stück eingetaucht war, so vermeidet man am besten dadurch jede Berührung mit einem Instrument, daß man das ganze Schälchen mit Säure und Schliff in eine Schale mit Wasser ausleert.

Bei der Einwirkung von Königswasser auf die gebräuchlichsten Dentalgoldlegierungen bildet sich ein mehr oder weniger festhaftender Überzug von Chlorsilber, den man durch kurzes Spülen in konzentriertem Ammoniakwasser leicht entfernen kann.

Die Betrachtung der geätzten Schliffe kann durch ein gewöhnliches Mikroskop nicht erfolgen, da diese Schliffe ja nicht durchsichtig sind. Man braucht dazu ein besonders gebautes „Metallmikroskop“, das sich von dem gewöhnlichen nur durch die Art der Beleuchtung unterscheidet. Ich verwendete ein gewöhnliches Mikroskop, bei dem ein sogenannter Vertikal-Illuminator (von Busch) zwischen Objektiv und Okular eingesetzt war. Bei dieser Vorrichtung tritt der Lichtstrahl

seitlich in ein Prisma, an dessen Hypothenuse er auf den Schliff abgelenkt wird. Die von dem Schliff reflektierten Strahlen gelangen durch das Objektiv zurück in das Mikroskop, an dem Prisma, das nur die Hälfte des Mikroskoptubus einnehmen darf, vorbei in das Okular und damit in das Gesichtsfeld des Beobachters.

Als photographische Aufnahmekamera benutzte ich die „Mica“ von Leitz, die anstelle des Okulars auf das Mikroskop aufgesetzt wird. Das Okular des Mikroskops wird ihr als Objektiv angeschraubt. Durch Zwischenschalten eines Prismas ist es möglich, während der Aufnahme den zu photographierenden Schliff zu beobachten. Neben dem Auslöser für Moment- und Zeitaufnahmen hat sie einen Auslöser zum Ausschwenken des Prismas, um gegebenenfalls alle Lichtstrahlen auf die Platte gelangen zu lassen.

Die Belichtungszeit schwankte je nach Vergrößerung und Helligkeit des Schliffes zwischen 10 Sekunden und 2 Minuten.

Die einzelnen Kristalle, die uns verschieden hell und dunkel erscheinen, haben chemisch alle die gleiche Zusammensetzung. Daß das eine Feld hell, ein anderes dunkel ist, hat seine Ursache darin, daß die einzelnen Metallflächen verschieden orientiert sind. Durch das Abschleifen wurden die einzelnen Kristalle, die ja regellos durcheinander liegen, in ganz verschiedenen Richtungen geschnitten. Nun ist bekannt, daß die Eigenschaften der Kristalle nach verschiedenen Richtungen verschieden sind und daß sich z. B. die Geschwindigkeit, mit welcher das Metall von einer Säure gelöst wird, mit der kristallographischen Orientierung der angegriffenen Fläche ändert. Wir erhalten also durch das Ätzen einen Schliff, der aus vielen kleinen in verschiedenen Winkeln zueinander geneigten Ebenen besteht. Uns erscheinen dann nur die Flächen hell, deren Strahlen in das Okular zurückgeworfen werden. Ist die Neigung einer Kristallfläche so groß, daß der Lichtstrahl nach außen hin abgelenkt wird, so wird uns diese Ebene dunkel erscheinen. (Lit. 3, 5, 28)

Die Legierungen, die ich untersuchte, waren: Zwei 18 karätige, zwei 20 karätige und zwei 22 karätige. Ich werde sie, der vielen Wiederholungen halber, mit römischen Zahlen

bezeichnen. Und zwar ist die Legierung I eine goldgelbe Legierung des Gold-Silber-Kupfer-Systems von 18 Karat, die Legierung II eine 20karätige, etwas dunklere desselben Systems und die Legierung III eine 22karätige in der Farbe der ersten Legierung und ebenfalls des gleichen Systems. Die Legierurg IV ist 18karätig, hat aber einen Platinzusatz von 5%, ist demzufolge auch entsprechend heller. Die Legierung V, die Gußgoldlegierung einer anderen Firma, ist die hellste der untersuchten Legierungen aus dem System Gold-Silber-Kupfer. Sie hat 20 Karat Feingehalt. Und die Legierung VI, 22karätig, hat ebenfalls einen Platinzusatz wie die Legierung IV.

Außer der Legierung V wurden alle nochmals in eine Muffel gegossen und zwar in einem quadratischen Körper von zirka $^3/_4$ mm Dicke und $^1/_2$ bis 1 cm Kantenlänge. Dabei wurden Muffel und zum Teil Gußgut verschieden stark erhitzt und verschieden schnell abgekühlt, so daß man nicht nur die Eigenschaften bei sachgemäßer Behandlung studieren konnte, sondern auch, was für die Praxis ganz besonders wichtig ist, sehen konnte, wie weit die einzelnen Legierungen auf kleine Fehler reagieren.

Im großen ganzen kann ich sagen, daß bei richtiger Behandlung alle im hiesigen Institut verwendeten Legierungen brauchbar sind, wenn die Untersuchungen auch gezeigt haben, daß man die eine oder andere doch mit besonderer Vorsicht behandeln muß.

Die Legierung I bot schon nach dem Ätzen eine Überraschung. Als ich sie aus dem Ammoniakbade herausnahm, zeigte sich auf der Schlifffläche ein fabelhaftes Bild von Kristallflächen bis zu einem knappen Millimeter Größe. Unter dem Mikroskop zeigte sich allerdings bei mittlerer Vergrößerung, daß nicht alle Kristalle homogenisiert waren, sondern daß die größten das charakteristische Kristall-Skelett zeigten, das ich im Abschnitt über die Homogenisierung beschrieben habe. In der Abbildung 2 können wir es an dem großen schwarzen Kristall links oben besonders deutlich erkennen. Gleich hier zu Anfang möchte ich einfügen, daß man aus dem mikroskopischen Bild lediglich eines Abschnittes der Schlifffläche sich nie ein Urteil erlauben darf über die Be-

schaffenheit der Legierung, da es oft Trugschlüsse zuläßt. Das kann man deutlich sehen, wenn man die Abbildung 2 und 5 miteinander vergleicht. Die Abbildung 5 zeigt bei stärkster Vergrößerung 4 homogene Mischkristalle mit völlig einheitlicher Struktur (die schwarzen Flecken und die kleinen Unebenheiten, auch bei den anderen Bildern sind Polierfehler, die bei der starken Vergrößerung sichtbar werden), trotzdem sie ein Ausschnitt aus der Schliffläche derselben Legierung sind wie Abb. 2. Nur ist hier eine Stelle photographiert, die völlig homogenisiert ist. Da die Legierungen II und III normale Korngröße bei gleicher Behandlung aufweisen, muß die äußerst grobe Struktur in dem Charakter der Legierung liegen: Die Legierung I hat eine sehr kleine Kernbildungstendenz. Alle drei Legierungen wurden sehr stark erhitzt, in sehr heiße (hellrot glühende) Muffeln gegossen, bis ca. 700° langsam und dann bis Zimmertemperatur schnell abgekühlt. Danach wurden sie in einer gemeinsamen Muffel einheitlich ungefähr eine Stunde und 15 Minuten getempert. Außer normaler Struktur zeigen die Legierungen II und III aber auch vollkommen homogenen Bau (Legierung III = Abb. 7), so daß wir zu dem Schluß kommen müsen: Je größer die Kristalle einer Legierung sind, umso länger brauchen sie zur Homogenisierung.

Bei der Verarbeitung der Legierung I hat man also zwei Dinge besonders zu beachten: Keine zu heiße Muffel, aber normal-heiße Schmelze, um die Kristalle nicht zu groß wachsen zu lassen und nachträgliche lange Temperung, um sie völlig durchzuhomogenisieren.

Die Legierung II und III zeigen schon bei meiner Bearbeitung gute Schliffbilder. Wird die Schmelze in normalheiße Muffeln gegossen (ich hatte die Muffeln überhitzt, um größere Kristalle zu erhalten), so wird die Korngröße noch günstiger ausfallen. Jedenfalls sind beide Legierungen in der Verarbeitung anspruchsloser als die Legierung I.

Die Abb. 3 zeigt das Bild der Legierung IV. Ich habe sie mit Absicht neben die der Legierung I gesetzt, um den Unterschied in der Korngröße recht deutlich zu demonstrieren. Beide Legierungen haben 18 Karat Feingehalt, wurden in gleicher

Weise behandelt (erhitzt, abgekühlt und getempert) und bei gleicher Vergrößerung photographiert. Ich habe schon in dem Abschnitt über „Kristallisation“ von den Vorteilen des kleinen Kornes gesprochen. Hier sehen wir deutlich, welch fabelhaften Einfluß schon der geringe Zusatz von 5% Platin auf die Korngröße ausübt. Außerdem zeigten sich bei dieser Legierung vollkommene homogene Mischkristalle. Sie ist infolgedessen eine der brauchbarsten der bis hierher besprochenen Legierungen.

Die Legierung V ist die einzige, die nicht in die Muffel gegossen wurde, und sie ist ein gutes Beispiel für einen Kokillenguß. Wir sehen in der Abb. 6 deutlich den Unterschied in der Korngröße gegenüber allen anderen besprochenen Bildern. In diesem Fall ist die Abkühlung der Schmelze durch das Gießen in eine offene Form so schnell durch das Schmelzintervall erfolgt, daß sich die Kristalle nur ungenügend, klein und unvollkommen ausbilden konnten. Wir sehen auf dem Bild infolgedessen ganz verschiedene Felder. Viele kleine, zum Teil sogar schon homogene Mischkristalle, aber im Gegensatz dazu auch viele noch unausgebildete Kristalle, meist in einem Haufen zusammen gelegen. Das letztere kommt von der ungleichmäßigen Abkühlung. Das letzte Bild, Abb. 8, ein Bild der Legierung VI, will ich in diesem Zusammenhang gleich mitbesprechen, weil es viel Ähnlichkeit mit dem Bild auf Abb. 6 hat. Diese Ähnlichkeit hat gewisse Gründe. Wenn auch das feine Korn der Legierung VI zum großen Teil der Platinbeimischung zuzuschreiben ist, zeigt schon ein Vergleich mit der Abb. 3, daß außerdem noch andere Ursachen im Spiele sein müssen. Und das ist die zu schnelle Abkühlung, die auch die Ursache der Ähnlichkeit mit Abb. 6 ist. Als die Legierung VI in die Muffel gegossen wurde, war diese schon zu sehr erkaltet, und die Kristalle konnten sich bei der schnellen Abkühlung durch das Schmelzintervall nicht so groß und einheitlich ausbilden wie in einer normalheißen Muffel. Die vorgewärmte Muffel dient also außer der Formhaltung des Gußstückes auch der Erhaltung der Schmelzwärme, und die erläuterten Beispiele zeigen, was man mit richtiger und falscher Vorwärmung erreichen kann.

Beim Photographieren der Legierung VI habe ich einen Abschnitt vom Rande des Gußstückes gewählt (der Rand ist in der Abb. 8 rechts zu sehen!), um die verschiedene Größe der Lunker zu zeigen. Wir sehen auf dem Bilde links einige große Lunker, die mehr nach der Mitte des Gußstückes zu liegen — das Gußstück wurde ziemlich weit abgeschliffen — und rechts am Rande viele kleine Lunker, die „Mikrolunker".

Wenn man, wie bei der Legierung I, zur Erzielung eines kleinen Kornes in eine weniger heiße Muffel gießen muß, so kann man die Lunkerbildung nur vermeiden, wenn man im Gußkanal einen sogenannten „verlorenen Kopf" anbringt und beim Gießen die Muffel von oben her stark erhitzt, um der in der Form erkaltenden Legierung Gelegenheit zu geben, aus dem verlorenen Kopf (oder bei genügender Menge von Gußmetall aus dem Gußtrichter) flüssige Schmelze nachzusaugen. Nachdem die Legierung VI nochmals ordnungsgemäß gegossen wurde, zeigte sie ein Bild ähnlich der Abb. 3, mit etwas kleineren, homogenen Kristallen. (Lit. 2, 16)

Zusammenfassend kann ich als Ergebnis meiner Untersuchungen sagen: Die meisten von namhaften deutschen Firmen in den Handel gebrachten Dental-Gold-Legierungen sind für zahnärztliche Zwecke durchaus brauchbar. Eigenheiten, wie schwere Homogenisierbarkeit, zum Teil in Verbindung mit zu großem Korn, oder Neigung zu Lunkerbildung, können durch entsprechend vorsichtige Verarbeitung zufriedenstellend ausgeglichen werden.

Auf Grund dieser Tatsachen wäre es jedem Prothetiker anzuraten, jede Legierung, die er noch nicht kennt und zum ersten Male verarbeitet, kurz auf ihre Struktur zu untersuchen. Das kann ganz einfach in der Weise geschehen, daß er bei einem fertigen Gußstück (Krone, Brücke u. a.) eine kleine Stelle eben poliert, sie kurz anätzt und mit einer guten Lupe untersucht. Grobes Gefüge, Lunker und starke Verunreinigungen wird er durch dieses primitive Verfahren schon deutlich erkennen können, und er wird sich durch individuelle Verarbeitung der einzelnen Legierungen vor Mißerfolgen schützen.

Literatur-Verzeichnis.

1. Behrens, H., Das mikroskopische Gefüge der Metalle und Legierungen. Hamburg und Leipzig 1894.
2. Degussa-Briefe. Mitteilungen aus dem Laboratorium der Deutschen Gold- und Silber-Scheideanstalt.
3. Dessau, B., Die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Legierungen. Leipzig 1930.
4. Doerinkel, Fr., Über einige Platinlegierungen. Göttingen 1908. Sep.
5. Eggert, J., Lehrbuch der physikalischen Chemie. Leipzig 1926.
6. Fenchel, A., Metallkunde für Zahnärzte. Hamburg 1911.
7. Goerens, P., Die technischen Verfahren zur Untersuchung von Metallen und Legierungen. Leipzig 1930.
8. — Einführung in die Metallographie. Halle 1926.
9. Guertler-Leitgebel, Vom Erz zum metallischen Werkstoff. Leipzig 1921.
10. Ledebur-Bauer, Die Legierungen. Frankfurt a. M. 1919.
11. Nowack, L. u. Leuser, J., Mechanische Eigenschaften von vergütbaren Goldlegierungen und ihre Anwendung in der zahnärztlichen Prothetik. Vierteljahresschr. d. Zahnheilk. 1930.
12. — Klammerprüfmethoden. Jahrbuch für zahntechnische Laboratorien 1931.
13. Nowack, L., Über den Einfluß geringer Beimengungen auf das Gefüge und die Bearbeitbarkeit von Gold und Goldlegierungen. Zeitschrift für Metallkunde. 1927.
14. — Verfärbungen von Goldlegierungen im Munde. 1930. Sep.
15. Preger, E., Metallbearbeitung. Leipzig 1925.
16. Scheffler, K., Der Einfluß verschiedener Gußmethoden auf die Beschaffenheit der Gußstücke in der zahnärztl. Praxis. Diss. Frankfurt 1931.
17. Schoenbeck, F., Kurzer Leitfaden der zahnärztl. Metallkunde. Berlin 1931.
18. — Kurzer Leitfaden der zahnärztl. Materialkunde. Berlin 1931.
19. Schubert, L., Über Fragen des Goldgußverfahrens. Z.R. 1930.
20. Stabel, F., Vergleichende Untersuchungen amerikanischer und deutscher Dentalgolde. Diss. Greifswald 1930.
21. Sterner-Rainer, L., Edelmetallegierungen und Amalgame in der Zahnheilkunde. Berlin 1930.
22. — Löten und Warmbehandlung von Dentalgolden. Zeitschrift f. St. 1930.

23. Tammann, G., Über die Änderung der Eigenschaften der Metalle durch ihre Bearbeitung. Zeitschrift für phys. Chemie. 1912.
24. — Über die Konstitution der Metallegierungen. Zeitschrift für angew. Chemie. 22. Jahrg.
25. — Lehrbuch der Metallographie I. Zeitschrift für angew. Chemie. 27. Jahrg.
26. — Lehrbuch der Metallographie III. Zeitschrift für angew. Chemie. 34. Jahrg.
27. — Über die chemischen Eigenschaften der Legierungen. Zeitschrift für angew. Chemie. 33. Jahrg.
28. Nowack, L., Über einige in der Zahnheilkunde angewandte Legierungen.
29. — Die mechanischen Eigenschaften der in der Zahnheilkunde angewandten Edelmetallegierungen sowie ihre Prüfmethoden.
30. — Die metallographischen Grundlagen der in der Zahnheilkunde angewandten Edellmetallegierungen.
(28 bis 30: 3 Vorträge, gehalten 1929 in Frankfurt a. M.)

Ehe ich meine Arbeit beschließe, ist es mir ein aufrichtiges Bedürfnis, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Chr. Greve, Professor an der Universitäts-Zahnklinik zu Erlangen, meinen herzlichsten Dank auszusprechen für die freundliche Unterstützung, die er mir zuteil werden ließ.

Ebenso danke ich an dieser Stelle Herrn Professor Dr. Scheibe, Direktor des hiesigen Institutes für Physikalische Chemie, für die bereitwillige Überlassung der für meine Versuche notwendigen Apparaturen und Materialien, seinem Assistenten Dr. Lindström für die Mithilfe beim Mikroskopieren, und Herrn Dr. Schmidt für seine Unterstützung beim Photographieren.

Lebenslauf.

Am 1. Mai 1907 wurde ich, Hermann Ernst Langlotz, als Sohn des Dentisten Hermann Langlotz und seiner Ehefrau Johanna, geb. Weißenborn, zu Erfurt geboren.

Ab Ostern 1914 besuchte ich zu Erfurt die Vorschule, das Gymnasium und das Realgymnasium. An letzterer Anstalt erhielt ich Ostern 1927 das Reifezeugnis. Nach dem Besuch der Universitäten Jena, Rostock, München und Erlangen erhielt ich am 29. April 1931 meine Approbation als Zahnarzt. Danach war ich als Vertreter in verschiedenen Praxen tätig und bin seit September 1931 in einer Privatpraxis als Assistent angestellt.

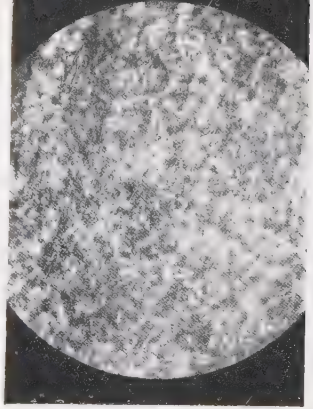

Abb. 6

20 krt.
(Kok.)
50 ×

Abb. 7

22 krt.
30 ×

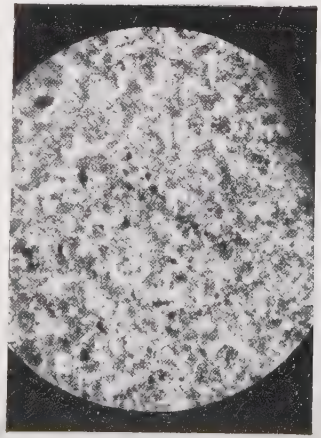

Abb. 8

22 krt. + 5% Pt
50 ×

Abb. 2

18 krt.
30 ×

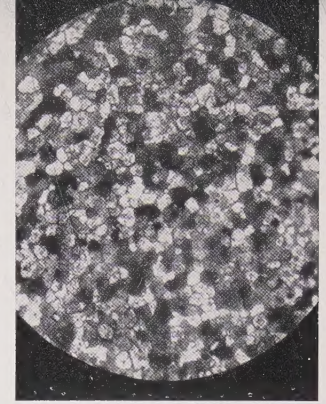

Abb. 3

18 krt. + 5% Pt
30 ×

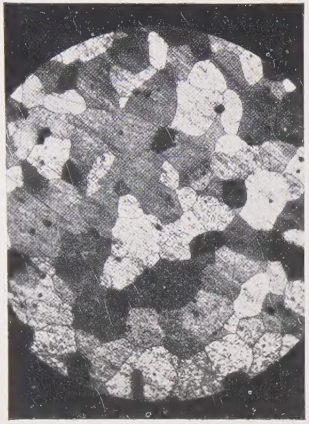

Abb. 4

20 krt.
30 ×

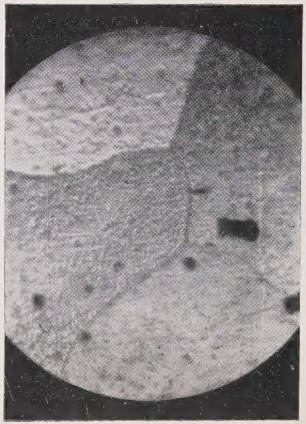

Abb. 5

18 krt.
300 ×